

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-084163  
 (43)Date of publication of application : 19.03.2003

(51)Int.Cl.

G02B 6/22  
 H04B 10/02  
 H04B 10/18

(21)Application number : 2001-272418

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

(22)Date of filing : 07.09.2001

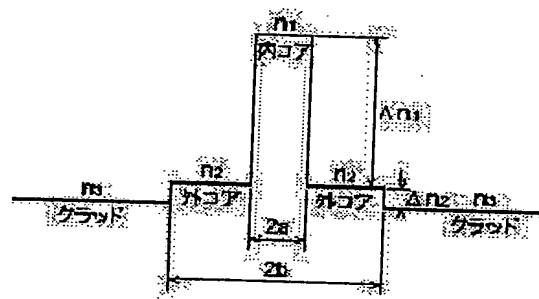
(72)Inventor : TSUKITANI MASAO  
 MATSUI MASAHIKO  
 KATO TAKATOSHI

## (54) OPTICAL FIBER, OPTICAL TRANSMISSION LINE, AND OPTICAL COMMUNICATION SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical fiber, etc., which are suitably used for an optical communication system capable of sending and receiving a large amount of information at high speed.

SOLUTION: This optical fiber has an internal core area with a refractive index  $n_1$  including the center of an optical axis, an external core area with a refractive index  $n_2$  surrounding the internal core area, and a clad area with a refractive index  $n_3$  surrounding the external core area, and the indexes of the refractive areas are so determined that  $n_1 > n_2 > n_3$ . The internal core area is formed substantially of pure-quartz glass since to Ge is added, and A refractive index decreasing agent such as F elements is added to the external core area and clad area. The optical fiber has 4 to 15 ps/nm/km wavelength dispersion at 1550 nm wavelength and  $\leq 0.190$  dB/km in a wavelength range of 1530 to 1570 nm and, preferably,  $\leq 0.185$  dB/km at 1500 nm wavelength.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998,2003 Japan Patent Office

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長1550nmにおける波長分散が4ps/nm/km以上15ps/nm/km以下であり、波長範囲1530nm～1570nmにおいて伝送損失が0.190dB/km以下であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項2】 波長1550nmにおける伝送損失が0.185dB/km以下であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項3】 光軸中心を含み第1の屈折率を有する内コア領域と、この内コア領域を取り囲み前記第1の屈折率より小さい第2の屈折率を有する外コア領域と、この外コア領域を取り囲み前記第2の屈折率より小さい第3の屈折率を有するクラッド領域とを備えることを特徴とする請求項1記載の光ファイバ。

【請求項4】 前記内コア領域はGeが添加されていない石英ガラスからなり、前記外コア領域および前記クラッド領域それぞれは屈折率低下剤が添加された石英ガラスからなることを特徴とする請求項3記載の光ファイバ。

【請求項5】 請求項1記載の光ファイバである第1の光ファイバと、この第1の光ファイバに接続され、この第1の光ファイバの波長分散および分散スロープを補償する分散補償光ファイバとを備えることを特徴とする光伝送路。

【請求項6】 請求項1記載の光ファイバである第2の光ファイバを更に備え、前記分散補償光ファイバが、前記第1の光ファイバと前記第2の光ファイバとの間に接続され、前記第1の光ファイバおよび前記第2の光ファイバの波長分散および分散スロープを補償することを特徴とする請求項5記載の光伝送路。

【請求項7】 請求項5または6に記載の光伝送路を備え、この光伝送路に信号光を伝送させて光通信を行うことを特徴とする光通信システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、波長1.55μm帯の信号光を伝送するのに好適な光ファイバ、光伝送路および光通信システムに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光通信システムは、光ファイバからなる光伝送路に信号光を伝送することで、大容量の情報を高速に送受信することができる。また、多波長の信号光を多重化して伝送する波長分割多重(WDM: Wavelength Division Multiplexing)伝送方式を用いた光通信システムは、更に大容量の情報を送受信することができる。ところが、近年の旺盛な通信需要に応えるべく更なる大容量化・高速化が要求されており、多波長信号光の波長

間隔の低減、ビットレートの拡大、および、信号光波長帯域の広帯域化が検討されている。

【0003】 このように大容量化・高速化が進むと、光伝送路の波長分散の管理が更に重要となってくる。すなわち、光伝送路の累積波長分散と自己位相変調(非線形光学現象の1種)との相互作用により光伝送路を伝搬する信号光の波形が劣化するので、この観点からは、信号光波長帯域において光伝送路の累積波長分散の絶対値は小さい方が好ましい。一方、波長分散の絶対値が小さいと四光波混合(非線形光学現象の1種)に因り雑音光が増加するので、この観点からは、信号光波長帯域において光伝送路の累積波長分散の絶対値は大きい方が好ましい。このように波長分散の観点から、信号光を高品質に伝送し得る光伝送路の研究がなされており、いくつかの報告がなされている。

【0004】 標準的なシングルモード光ファイバは、コア領域にGeO<sub>2</sub>が添加された石英系の光ファイバであって、波長1550nmにおける波長分散が17ps/nm/km程度である。これに対して、波長1550nmにおける波長分散の値が低減された光ファイバが知られている。例えば、米国特許第5,835,655号明細書に開示された光ファイバは、波長分散が零となる零分散波長が1531nmであって、波長1550nmにおける波長分散の値が小さいものである。米国特許第5,327,516号明細書に開示された光ファイバは、波長1550nmにおける波長分散の値が2ps/nm/km程度である。文献1「K. Mukasa, et al., "Wide-Band Dispersion Management Transmission Line with Medial Dispersion Fiber (MDF)", ECOC'2000, pp. 95-96」に記載された光ファイバは、波長1550nmにおける波長分散の値が14.7ps/nm/kmである。また、文献2「K. Aikawa, et al., "New Dispersion-Flattened Hybrid Optical Fiber Link Composed of Medium-Dispersion Large-Effective-Area Fiber and Negative Dispersion Fiber", OFC'2001, TuH1」に記載された光ファイバは、波長1550nmにおける波長分散の値が9.2ps/nm/kmである。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記の各米国特許明細書や各文献に記載された光ファイバは、波長1550nmにおける波長分散については検討がなされてはいるものの、伝送損失の低減については検討がなされておらず、更なる大容量化・高速化の要求に応えるには充分でない。

【0006】 本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、大容量・高速に情報を送受信することができる光通信システム、ならびに、この光通信システムにおいて好適に用いられる低損失な光ファイバおよび光伝送路を提供することを目的とする。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】本発明に係る光ファイバは、波長1550nmにおける波長分散が $4\text{ps/nm/km}$ 以上 $15\text{ps/nm/km}$ 以下であり、波長範囲1530nm～1570nmにおいて伝送損失が $0.190\text{dB/km}$ 以下であることを特徴とする。また、波長1550nmにおける伝送損失が $0.185\text{dB/km}$ 以下であるのが好適である。この光ファイバは、波長1550nmにおける波長分散が $15\text{ps/nm/km}$ 以下であることにより、累積波長分散に因る信号光波形劣化を抑制することができ、また、波長1550nmにおける波長分散が $4\text{ps/nm/km}$ 以上であることにより、四光波混合に因る信号光波形劣化を抑制することができる。また、この光ファイバは、波長範囲1530nm～1570nmにおいて伝送損失が $0.190\text{dB/km}$ 以下であることにより、信号光を低損失・高品質に長距離伝送することができる。

【0008】また、本発明に係る光ファイバは、光軸中心を含み第1の屈折率を有する内コア領域と、この内コア領域を取り囲み第1の屈折率より小さい第2の屈折率を有する外コア領域と、この外コア領域を取り囲み第2の屈折率より小さい第3の屈折率を有するクラッド領域とを備えるのが好適である。この場合には、上記の波長分散特性および伝送損失特性を有する光ファイバを実現する上で好適であり、また、カットオフ波長を長くすることができるので曲げ損失を低減する上でも好適である。

【0009】また、本発明に係る光ファイバは、内コア領域はGeが添加されていない石英ガラスからなり、外コア領域およびクラッド領域それぞれは屈折率低下剤が添加された石英ガラスからなるのが好適である。この場合には、光ファイバの内コア領域にGeが添加されていないことから、レーリ散乱に因る損失が低減される。

【0010】本発明に係る光伝送路は、(1)上記の本発明に係る光ファイバである第1の光ファイバと、(2)この第1の光ファイバに接続され、この第1の光ファイバの波長分散および分散スロープを補償する分散補償光ファイバとを備えることを特徴とする。これによれば、光伝送路は、各位置における累積波長分散が低減され、光伝送品質が良好なものとなる。

【0011】また、本発明に係る光伝送路は、上記の本発明に係る光ファイバである第2の光ファイバを更に備え、分散補償光ファイバが、第1の光ファイバと第2の光ファイバとの間に接続され、第1の光ファイバおよび第2の光ファイバの波長分散および分散スロープを補償するのが好適である。この場合には、光伝送路の各位置における累積波長分散が更に低減される。

【0012】本発明に係る光通信システムは、上記の本発明に係る光伝送路を備え、この光伝送路に信号光を送らせて光通信を行うことを特徴とする。この光通信システムは、大容量・高速に情報を送受信することができ

る。

### 【0013】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0014】まず、本発明に係る光ファイバの第1実施形態について説明する。図1は、第1実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。この光ファイバは、光軸中心を含む屈折率 $n_1$ のコア領域と、このコア領域を取り囲む屈折率 $n_2$ のクラッド領域とを有し、各領域の屈折率の大小関係が $n_1 > n_2$ である。この光ファイバは石英ガラスをベースとするものであって、コア領域はGeが添加されておらず実質的に純石英ガラスであり、クラッド領域はF元素等の屈折率低下剤が添加されている。なお、コア領域には微量のCl元素が添加されていてもよい。そして、この光ファイバは、クラッド領域に対するコア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ およびコア径 $2a$ が適切に設定されていて、波長1550nmにおける波長分散が $4\text{ps/nm/km}$ 以上 $15\text{ps/nm/km}$ 以下であり、波長範囲1530nm～1570nmにおいて伝送損失が $0.190\text{dB/km}$ 以下であり、また、好適には、波長1550nmにおける伝送損失が $0.185\text{dB/km}$ 以下である。

【0015】この光ファイバは、波長1550nmにおける波長分散が $15\text{ps/nm/km}$ 以下であることにより、累積波長分散に因る信号光波形劣化を抑制することができ、また、波長1550nmにおける波長分散が $4\text{ps/nm/km}$ 以上であることにより、四光波混合に因る信号光波形劣化を抑制することができる。また、この光ファイバは、波長範囲1530nm～1570nmにおいて伝送損失が $0.190\text{dB/km}$ 以下であることにより、信号光を低損失・高品質に長距離伝送することができる。この光ファイバは、コア領域にGeが添加されていないことから、レーリ散乱に因る損失が低減される。

【0016】図2～図7それぞれは、第1実施形態に係る光ファイバのコア径 $2a$ と波長1550nmにおける諸特性との関係の計算結果を示すグラフである。ここでは、比屈折率差 $\Delta n_1$ を0.4%とした。図2に示されるように、波長1550nmにおける波長分散が $4\text{ps/nm/km}$ 以上 $15\text{ps/nm/km}$ 以下となるためには、コア径 $2a$ は $4\mu\text{m}$ ～ $7.5\mu\text{m}$ の範囲であればよい。図3に示されるように、波長1550nmにおける分散スロープは、コア径 $2a$ が $4\mu\text{m}$ ～ $7.5\mu\text{m}$ の範囲で $0.085\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、コア径 $2a$ が $6\mu\text{m}$ ～ $7.5\mu\text{m}$ の付近で最小値となる。図4に示されるように、波長1550nmにおけるモードフィールド径は、コア径 $2a$ が $4\mu\text{m}$ ～ $7.5\mu\text{m}$ の範囲で $9.5\mu\text{m}$ 以上である。図5に示されるように、波

長1550nmにおける実効断面積は、コア径2aが4 $\mu\text{m}$ ~7.5 $\mu\text{m}$ の範囲で6.7 $\mu\text{m}^2$ 以上である。図6に示されるように、実効カットオフ波長は、コア径2aが大きいほど長くなり、コア径2aが4 $\mu\text{m}$ ~7.5 $\mu\text{m}$ の範囲で、実効カットオフ波長は0.65 $\mu\text{m}$ ~1.15 $\mu\text{m}$ である。図7に示されるように、波長1550nmにおける曲げ径20mm $\phi$ での曲げ損失は、コア径2aが大きいほど小さくなり、コア径2aが6 $\mu\text{m}$ ~7.5 $\mu\text{m}$ の範囲では、曲げ損失は3dB/m~100dB/m程度である。

【0017】次に、第1実施形態に係る光ファイバを試作した3つの実施例について説明する。図8は、第1実施形態に含まれる実施例1~3それぞれの光ファイバの諸元を纏めた図表である。図9は、実施例1の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。図10は、実施例2の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。図11は、実施例3の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。実施例1~3の光ファイバは何れも、図1に示された屈折率プロファイルを有しており、コア領域が純石英ガラスであり、クラッド領域にF元素が添加されたものであった。

【0018】実施例1の光ファイバは、比屈折率差 $\Delta n_1$ が0.36%であり、コア径2aが7.2 $\mu\text{m}$ であり、波長1550nmにおける伝送損失が0.173dB/kmであり、波長1550nmにおける波長分散が12.4ps/nm/kmであり、波長1550nmにおける分散スロープが0.053ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、波長1550nmにおけるモードフィールド径が9.4 $\mu\text{m}$ であり、波長1550nmにおける実効断面積が66.9 $\mu\text{m}^2$ であり、2mカットオフ波長が1084nmであり、波長1550nmにおける偏波モード分散が0.03ps/km<sup>1/2</sup>であった。また、図9に示されるように、この実施例1の光ファイバの伝送損失は、波長1530nmで0.176dB/kmであり、波長1550nmで0.173dB/kmであり、波長1570nmで0.174dB/kmであった。

【0019】実施例2の光ファイバは、比屈折率差 $\Delta n_1$ が0.36%であり、コア径2aが6.8 $\mu\text{m}$ であり、波長1550nmにおける伝送損失が0.175dB/kmであり、波長1550nmにおける波長分散が11.2ps/nm/kmであり、波長1550nmにおける分散スロープが0.052ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、波長1550nmにおけるモードフィールド径が9.4 $\mu\text{m}$ であり、波長1550nmにおける実効断面積が66.2 $\mu\text{m}^2$ であり、2mカットオフ波長が1070nmであり、波長1550nmにおける偏波モード分散が0.01ps/km<sup>1/2</sup>であった。また、図10に示されるように、この実施例2の光ファイバの伝送損失は、波長1530nmで0.179dB/kmであり、波長1550nmで0.175dB/kmであり、

波長1570nmで0.175dB/kmであった。

【0020】実施例3の光ファイバは、比屈折率差 $\Delta n_1$ が0.36%であり、コア径2aが6.4 $\mu\text{m}$ であり、波長1550nmにおける伝送損失が0.176dB/kmであり、波長1550nmにおける波長分散が10.1ps/nm/kmであり、波長1550nmにおける分散スロープが0.052ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、波長1550nmにおけるモードフィールド径が9.4 $\mu\text{m}$ であり、波長1550nmにおける実効断面積が66.3 $\mu\text{m}^2$ であり、2mカットオフ波長が1103nmであり、波長1550nmにおける偏波モード分散が0.04ps/km<sup>1/2</sup>であった。また、図11に示されるように、この実施例3の光ファイバの伝送損失は、波長1530nmで0.178dB/kmであり、波長1550nmで0.176dB/kmであり、波長1570nmで0.175dB/kmであった。

【0021】これら実施例1~3の光ファイバは何れも、波長1550nmにおける波長分散が4ps/nm/km以上15ps/nm/km以下であり、波長範囲1530nm~1570nmにおいて伝送損失が0.190dB/km以下であり、波長1550nmにおける伝送損失が0.185dB/km以下であった。なお、図2~図7それぞれに示された計算結果と実施例とでは、比屈折率差が若干異なることから、コア径も若干異なっている。

【0022】次に、本発明に係る光ファイバの第2実施形態について説明する。図12は、第2実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。この光ファイバは、光軸中心を含む屈折率 $n_1$ の内コア領域と、この内コア領域を取り囲む屈折率 $n_2$ の外コア領域と、この外コア領域を取り囲む屈折率 $n_3$ のクラッド領域とを有し、各領域の屈折率の大小関係が $n_1 > n_2 > n_3$ である。この光ファイバは石英ガラスをベースとするものであって、内コア領域はGeが添加されておらず実質的に純石英ガラスであり、外コア領域およびクラッド領域それぞれはF元素等の屈折率低下剤が添加されている。なお、内コア領域には微量のCl元素が添加されていてもよい。そして、この光ファイバは、外コア領域に対する内コア領域の比屈折率差 $\Delta n_1$ 、クラッド領域に対する外コア領域の比屈折率差 $\Delta n_2$ 、内コア径2aおよび外コア径2bが適切に設定されていて、波長1550nmにおける波長分散が4ps/nm/km以上15ps/nm/km以下であり、波長範囲1530nm~1570nmにおいて伝送損失が0.190dB/km以下であり、また、好適には、波長1550nmにおける伝送損失が0.185dB/km以下である。

【0023】この光ファイバは、波長1550nmにおける波長分散が15ps/nm/km以下であることにより、累積波長分散に因る信号光波形劣化を抑制することができ、また、波長1550nmにおける波長分散が

4 ps/nm/km以上であることにより、四光波混合に因る信号光波形劣化を抑制することができる。また、この光ファイバは、波長範囲1530 nm~1570 nmにおいて伝送損失が0.190 dB/km以下であることにより、信号光を低損失・高品質に長距離伝送することができる。この光ファイバは、内コア領域にGeが添加されていないことから、レーリ散乱に因る損失が低減される。

【0024】図13~図18それぞれは、第2実施形態に係る光ファイバの内コア径2aと波長1550 nmにおける諸特性との関係の計算結果を示すグラフである。ここでは、比屈折率差 $\Delta n_1$ を0.43%とし、比屈折率差 $\Delta n_2$ を0.08%とし、外コア径2bと内コア径2aとの比 $R_a (=a/b)$ を0.2とした。図13に示されるように、波長1550 nmにおける波長分散が4 ps/nm/km以上15 ps/nm/km以下となるためには、内コア径2aは7.5  $\mu$ m以下であればよい。図14に示されるように、波長1550 nmにおける分散スロープは、0.085 ps/nm<sup>2</sup>/km以下である。図15に示されるように、波長1550 nmにおけるモードフィールド径は、9.5  $\mu$ m以上である。図16に示されるように、波長1550 nmにおける実効断面積は、67  $\mu$ m<sup>2</sup>以上である。図17に示されるように、実効カットオフ波長は、内コア径2aが大きいほど長くなり、内コア径2aが4  $\mu$ m~7.5  $\mu$ mの範囲で、実効カットオフ波長は1.1  $\mu$ m~1.8  $\mu$ mである。図18に示されるように、波長1550 nmにおける曲げ径20 mm $\phi$ での曲げ損失は、内コア径2aが大きいほど小さくなり、内コア径2aが6  $\mu$ m~7.5  $\mu$ mの範囲では、曲げ損失は0.01 dB/m~0.3 dB/m程度である。

【0025】次に、第2実施形態に係る光ファイバを試作した4つの実施例について説明する。図19は、第2実施形態に含まれる実施例4~7それぞれの光ファイバの諸元を纏めた図表である。図20は、実施例4の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。図21は、実施例5の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。図22は、実施例6の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。図23は、実施例7の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。実施例4~7の光ファイバはどれも、図12に示された屈折率プロファイルを有しており、内コア領域が純石英ガラスであり、外コア領域およびクラッド領域それぞれにF元素が添加されたものであった。

【0026】実施例4の光ファイバは、比屈折率差 $\Delta n_1$ が0.40%であり、比屈折率差 $\Delta n_2$ が0.08%であり、内コア径2aが7.0  $\mu$ mであり、外コア径2bが33.4  $\mu$ mであった。そして、この実施例4の光ファイバは、波長1550 nmにおける伝送損失が0.180 dB/kmであり、波長1550 nmにおける波長

分散が11.1 ps/nm/kmであり、波長1550 nmにおける分散スロープが0.053 ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、波長1550 nmにおけるモードフィールド径が9.4  $\mu$ mであり、波長1550 nmにおける実効断面積が66.1  $\mu$ m<sup>2</sup>であり、2mカットオフ波長が1778 nmであり、ケーブルカットオフ波長が1287 nmであり、波長1550 nmにおける偏波モード分散が0.04 ps/km<sup>1/2</sup>であり、波長1550 nmにおける曲げ径20 mm $\phi$ での曲げ損失が0.9 dB/mであった。また、図20に示されるように、この実施例4の光ファイバの伝送損失は、波長1530 nmで0.187 dB/kmであり、波長1550 nmで0.180 dB/kmであり、波長1570 nmで0.181 dB/kmであった。

【0027】実施例5の光ファイバは、比屈折率差 $\Delta n_1$ が0.40%であり、比屈折率差 $\Delta n_2$ が0.08%であり、内コア径2aが6.6  $\mu$ mであり、外コア径2bが32.5  $\mu$ mであった。そして、この実施例5の光ファイバは、波長1550 nmにおける伝送損失が0.180 dB/kmであり、波長1550 nmにおける波長分散が10.6 ps/nm/kmであり、波長1550 nmにおける分散スロープが0.054 ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、波長1550 nmにおけるモードフィールド径が9.4  $\mu$ mであり、波長1550 nmにおける実効断面積が66.3  $\mu$ m<sup>2</sup>であり、2mカットオフ波長が1744 nmであり、ケーブルカットオフ波長が1377 nmであり、波長1550 nmにおける偏波モード分散が0.05 ps/km<sup>1/2</sup>であり、波長1550 nmにおける曲げ径20 mm $\phi$ での曲げ損失が1.4 dB/mであった。また、図21に示されるように、この実施例5の光ファイバの伝送損失は、波長1530 nmで0.184 dB/kmであり、波長1550 nmで0.180 dB/kmであり、波長1570 nmで0.178 dB/kmであった。

【0028】実施例6の光ファイバは、比屈折率差 $\Delta n_1$ が0.40%であり、比屈折率差 $\Delta n_2$ が0.08%であり、内コア径2aが6.3  $\mu$ mであり、外コア径2bが31.0  $\mu$ mであった。そして、この実施例6の光ファイバは、波長1550 nmにおける伝送損失が0.180 dB/kmであり、波長1550 nmにおける波長分散が10.1 ps/nm/kmであり、波長1550 nmにおける分散スロープが0.054 ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、波長1550 nmにおけるモードフィールド径が9.5  $\mu$ mであり、波長1550 nmにおける実効断面積が66.6  $\mu$ m<sup>2</sup>であり、2mカットオフ波長が1678 nmであり、ケーブルカットオフ波長が1302 nmであり、波長1550 nmにおける偏波モード分散が0.05 ps/km<sup>1/2</sup>であり、波長1550 nmにおける曲げ径20 mm $\phi$ での曲げ損失が4.5 dB/mであった。また、図22に示されるように、この実

施例6の光ファイバの伝送損失は、波長1530nmで0.185dB/kmであり、波長1550nmで0.180dB/kmであり、波長1570nmで0.178dB/kmであった。

【0029】実施例7の光ファイバは、比屈折率差 $\Delta n_1$ が0.40%であり、比屈折率差 $\Delta n_2$ が0.08%であり、内コア径2aが6.1 $\mu$ mであり、外コア径2bが30.7 $\mu$ mであった。そして、この実施例7の光ファイバは、波長1550nmにおける伝送損失が0.184dB/kmであり、波長1550nmにおける波長分散が9.1ps/nm/kmであり、波長1550nmにおける分散スロープが0.055ps/nm<sup>2</sup>/kmであり、波長1550nmにおけるモードフィールド径が9.6 $\mu$ mであり、波長1550nmにおける実効断面積が67.7 $\mu$ m<sup>2</sup>であり、2mカットオフ波長が1610nmであり、ケーブルカットオフ波長が1291nmであり、波長1550nmにおける偏波モード分散が0.02ps/km<sup>1/2</sup>であり、波長1550nmにおける曲げ径20mm $\phi$ での曲げ損失が12.1dB/mであった。また、図23に示されるように、この実施例7の光ファイバの伝送損失は、波長1530nmで0.189dB/kmであり、波長1550nmで0.184dB/kmであり、波長1570nmで0.183dB/kmであった。

【0030】これら実施例4~7の光ファイバは何れも、波長1550nmにおける波長分散が4ps/nm/km以上15ps/nm/km以下であり、波長範囲1530nm~1570nmにおいて伝送損失が0.190dB/km以下であり、波長1550nmにおける伝送損失が0.185dB/km以下であった。なお、図13~図18それぞれに示された計算結果と実施例とでは、比屈折率差が若干異なることから、コア径も若干異なっている。

【0031】また、第1実施形態（実施例1~3）の光ファイバと第2実施形態（実施例4~7）の光ファイバとを比較して判るように、図12に示された屈折率プロファイルを有する第2実施形態に係る光ファイバは、カットオフ波長が長いので、光の閉じ込め効果が高くなり、曲げ損失が小さく、光伝送路として用いるのに好適である。

【0032】次に、本発明に係る光伝送路および光通信システムの実施形態について説明する。図24は、第1実施形態の光通信システム1の構成図である。図25は、第2実施形態の光通信システム2の構成図である。図26は、第3実施形態の光通信システム3の構成図である。

【0033】図24に示された第1実施形態の光通信システム1は、光中継器（または光送信器）4と光中継器（または光受信器）5との間に光伝送路10が敷設されたものである。この光伝送路10は、上述した本実施形

態に係る光ファイバからなり、波長1550nmにおける波長分散が4ps/nm/km以上15ps/nm/km以下であり、波長範囲1530nm~1570nmにおいて伝送損失が0.190dB/km以下であり、また、好適には、波長1550nmにおける伝送損失が0.185dB/km以下である。

【0034】図25に示された第2実施形態の光通信システム2は、光中継器4と光中継器5との間に光伝送路20が敷設されたものである。この光伝送路20は、第1の光ファイバ11と分散補償光ファイバ13とが融着接続されたものである。第1の光ファイバ11は、上述した本実施形態に係る光ファイバであって、波長1550nmにおける波長分散が4ps/nm/km以上15ps/nm/km以下であり、波長範囲1530nm~1570nmにおいて伝送損失が0.190dB/km以下であり、また、好適には、波長1550nmにおける伝送損失が0.185dB/km以下である。分散補償光ファイバ13は、第1の光ファイバ11の波長分散と符号が異なる波長分散を有し、第1の光ファイバ11の分散スロープと符号が異なる分散スロープを有しており、第1の光ファイバ11の波長分散および分散スロープを補償する。この光通信システム2では、光中継器4から送出された信号光は、初めに第1の光ファイバ11を伝搬した後に分散補償光ファイバ13を伝搬して、光中継器5に到達する。

【0035】図26に示された第3実施形態の光通信システム3は、光中継器4と光中継器5との間に光伝送路30が敷設されたものである。この光伝送路30は、第1の光ファイバ11と分散補償光ファイバ13と第2の光ファイバ12とが順に融着接続されたものである。第1の光ファイバ11および第2の光ファイバ12それぞれは、上述した本実施形態に係る光ファイバであって、波長1550nmにおける波長分散が4ps/nm/km以上15ps/nm/km以下であり、波長範囲1530nm~1570nmにおいて伝送損失が0.190dB/km以下であり、また、好適には、波長1550nmにおける伝送損失が0.185dB/km以下である。分散補償光ファイバ13は、第1の光ファイバ11および第2の光ファイバ12の波長分散と符号が異なる波長分散を有し、第1の光ファイバ11および第2の光ファイバ12の分散スロープと符号が異なる分散スロープを有しており、第1の光ファイバ11および第2の光ファイバ12の波長分散および分散スロープを補償する。この光通信システム3では、光中継器4から送出された信号光は、初めに第1の光ファイバ11を伝搬した後に分散補償光ファイバ13を伝搬し、更に第2の光ファイバ12を伝搬して、光中継器5に到達する。また、この光通信システム3では、光中継器5から送出された信号光は、初めに第2の光ファイバ12を伝搬した後に分散補償光ファイバ13を伝搬し、更に第1の光ファイ

バ11を伝搬して、光中継器4に到達する。

【0036】図27は、第1～第3実施形態それぞれの光通信システムにおける累積波長分散の分布を示す図である。ここでは、光伝送路10、20、30それぞれの長さを50kmとした。本実施形態に係る光ファイバ（すなわち、光伝送路10を構成する光ファイバ、第1の光ファイバ11、第2の光ファイバ12）の波長1550nmにおける波長分散を10ps/nm/kmとした。分散補償光ファイバ13の波長1550nmにおける波長分散を-10ps/nm/kmとした。また、光伝送路20および30それぞれの全体の累積波長分散が0になるように各光ファイバの長さを設定した。第3実施形態の光伝送路30では、第1の光ファイバ11および第2の光ファイバ12それぞれの長さを互いに同一とした。この図に示される累積波長分散は、光中継器4から各光伝送路へ信号光が入射する地点から該光伝送路上の各位置までのものを示している。また、この図には、波長1550nmにおける波長分散が17ps/nm/kmである標準的なシングルモード光ファイバのみからなる光伝送路が比較例として示されている。

【0037】この図に示されるように、第1実施形態の光通信システム1および光伝送路10は、比較例のものと比較して累積波長分散が10/17であり、累積波長分散に因る信号光波形劣化を抑制する上で好適である。本実施形態に係る光ファイバと分散補償光ファイバとを組み合わせた第2実施形態の光通信システム2および光伝送路20は、第1実施形態のものと比較して、累積波長分散の最大値が1/2であり、累積波長分散に因る信号光波形劣化を抑制する上で更に好適である。また、本実施形態に係る光ファイバを両端に設けて中央部分に分散補償光ファイバを設けた第3実施形態の光通信システム3および光伝送路30は、累積波長分散の最大値が更に小さく、累積波長分散に因る信号光波形劣化を抑制する上で更に好適である。

【0038】また、第1～第3実施形態それぞれの光通信システムおよび光伝送路は、波長1550nmにおける波長分散が4ps/nm/km以上である本実施形態に係る光ファイバを用いているので、四光波混合に因る信号光波形劣化を抑制することができる。また、第1～第3実施形態それぞれの光通信システムおよび光伝送路は、波長範囲1530nm～1570nmにおいて伝送損失が0.190dB/km以下である本実施形態に係る光ファイバを用いているので、高ビットレートの信号光を低損失・高品質に長距離伝送することができる。

【0039】

【発明の効果】以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る光ファイバは、波長1550nmにおける波長分散が15ps/nm/km以下であることにより、累積波長分散に因る信号光波形劣化を抑制することができ、また、波長1550nmにおける波長分散が4ps/nm

/km以上であることにより、四光波混合に因る信号光波形劣化を抑制することができる。また、この光ファイバは、波長範囲1530nm～1570nmにおいて伝送損失が0.190dB/km以下であることにより、信号光を低損失・高品質に長距離伝送することができる。また、本発明に係る光伝送路および光通信システムは、上記の本発明に係る光ファイバを用いたものであるため、高ビットレートの信号光を低損失・高品質に長距離伝送することができる。

#### 10 【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

【図2】第1実施形態に係る光ファイバのコア径2aと波長分散(@1550nm)との関係を示すグラフである。

【図3】第1実施形態に係る光ファイバのコア径2aと分散スロープ(@1550nm)との関係を示すグラフである。

【図4】第1実施形態に係る光ファイバのコア径2aとモードフィールド径(@1550nm)との関係を示すグラフである。

【図5】第1実施形態に係る光ファイバのコア径2aと実効断面積(@1550nm)との関係を示すグラフである。

【図6】第1実施形態に係る光ファイバのコア径2aと実効カットオフ波長との関係を示すグラフである。

【図7】第1実施形態に係る光ファイバのコア径2aと曲げ損失(@1550nm、@20mmφ)との関係を示すグラフである。

【図8】第1実施形態に含まれる実施例1～3それぞれの光ファイバの諸元を纏めた図表である。

【図9】実施例1の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。

【図10】実施例2の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。

【図11】実施例3の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。

【図12】第2実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

【図13】第2実施形態に係る光ファイバの内コア径2aと波長分散(@1550nm)との関係を示すグラフである。

【図14】第2実施形態に係る光ファイバの内コア径2aと分散スロープ(@1550nm)との関係を示すグラフである。

【図15】第2実施形態に係る光ファイバの内コア径2aとモードフィールド径(@1550nm)との関係を示すグラフである。

【図16】第2実施形態に係る光ファイバの内コア径2aと実効断面積(@1550nm)との関係を示すグ



フである。

【図17】第2実施形態に係る光ファイバの内コア径2aと実効カットオフ波長との関係を示すグラフである。

【図18】第2実施形態に係る光ファイバの内コア径2aと曲げ損失(@1550nm、@20mmφ)との関係を示すグラフである。

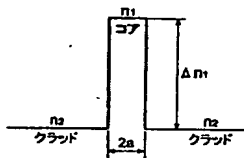
【図19】第2実施形態に含まれる実施例4～7それぞれの光ファイバの諸元を纏めた図表である。

【図20】実施例4の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。

【図21】実施例5の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。

【図22】実施例6の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。

【図1】



【図23】実施例7の光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。

【図24】第1実施形態の光通信システム1の構成図である。

【図25】第2実施形態の光通信システム2の構成図である。

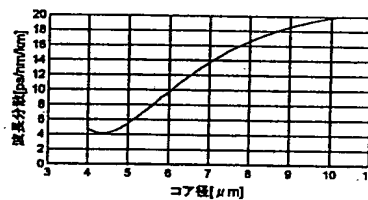
【図26】第3実施形態の光通信システム3の構成図である。

【図27】第1～第3実施形態それぞれの光通信システムにおける累積波長分散の分布を示す図である。

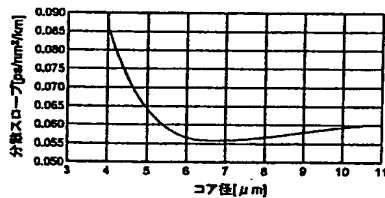
【符号の説明】

1, 2…光通信システム、4, 5…光中継器、10, 20, 30…光伝送路、11…第1の光ファイバ、12…第2の光ファイバ、13…分散補償光ファイバ。

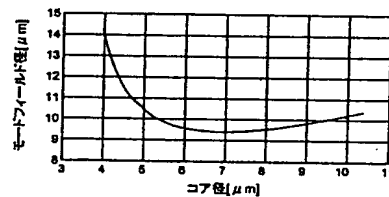
【図2】



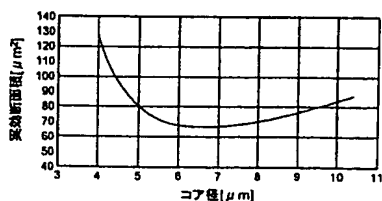
【図3】



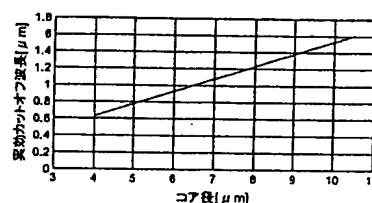
【図4】



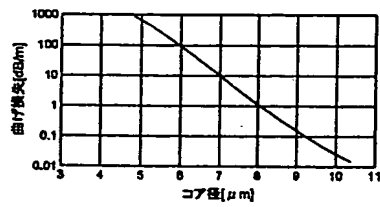
【図5】



【図6】



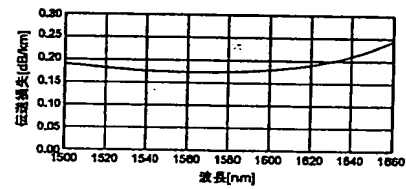
【図7】



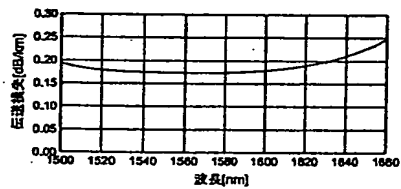
【図8】

	実施例1	実施例2	実施例3
コア径 (μm)	7.7	8.8	8.4
伝送損失 (dB/km)	0.175	0.175	0.175
波長分散 (ps/nm/km)	12.4	11.2	16.1
分散スロープ (ps/nm <sup>2</sup> /km)	0.053	0.052	0.052
モードフィールド径 (μm)	8.4	8.4	8.4
有効断面積 (μm <sup>2</sup> )	66.9	66.2	66.3
カットオフ波長 (nm)	1684	1670	1103
伝送モード分散 (ps/km <sup>2</sup> )	0.03	0.01	0.04

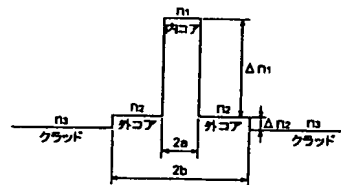
【図10】



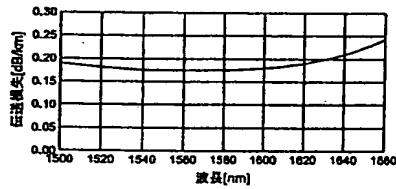
【図9】



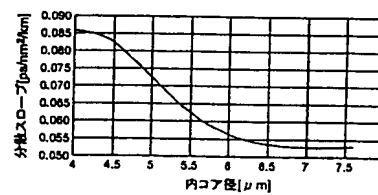
【図12】



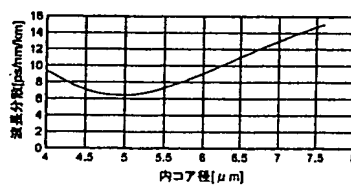
【図11】



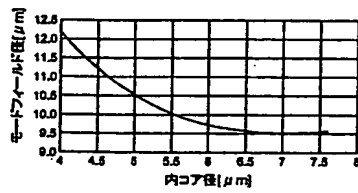
【図14】



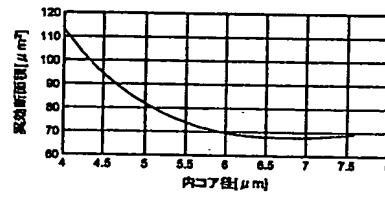
【図13】



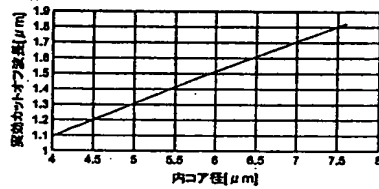
【図15】



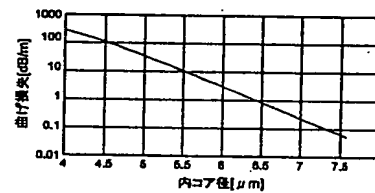
【図16】



【図17】



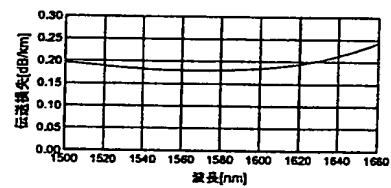
【図18】



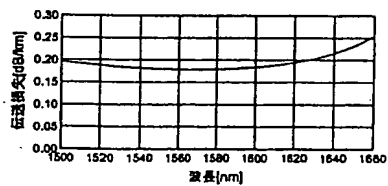
【図19】

	実施例4	実施例5	実施例6	実施例7
内コア径 (μm)	7.0	6.0	6.4	6.1
外コア径 (μm)	32.4	32.5	31.0	30.7
伝送損失 (dB/km)	0.189	0.189	0.180	0.184
伝送分路 (ps/cm/km)	11.1	10.6	10.1	9.1
分散スロープ (ps/km/nm)	0.053	0.054	0.054	0.055
モードフィールド径 (μm)	8.4	8.4	8.5	8.6
有効断面積 (μm²)	68.1	64.3	66.6	67.7
カットオフ波長 (nm)	1770	1744	1678	1610
カットオフ波長 (9-β) (nm)	1267	1277	1302	1291
伝播モード分散 (ps/km/nm)	0.04	0.05	0.05	0.02
曲行損失 (dB/km)	8.9	1.4	4.5	12.1

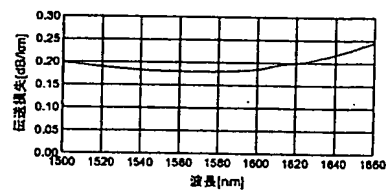
【図20】



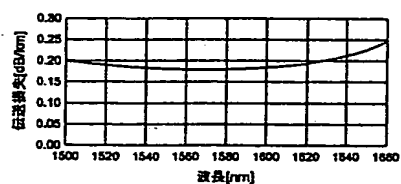
【図21】



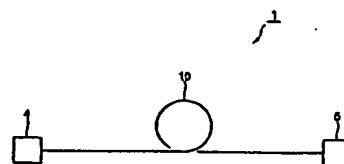
【図22】



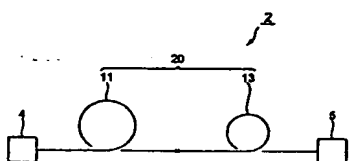
【図23】



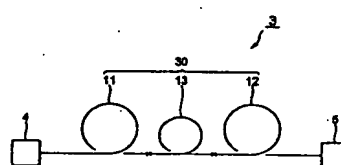
【図24】



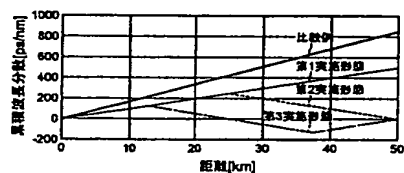
【図25】



【図26】



【図27】



フロントページの続き

(72)発明者 加藤 考利  
 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電  
 気工業株式会社横浜製作所内

Fターム(参考) 2H050 AB05X AB10Z AC03 AC13  
 AC73 AC74 AD01 AD16  
 5K002 CA01 FA02